

مطالعه تاثیر آلودگی نفت گاز بر رفتار برشی خاک‌های درشت‌دانه

علی محمد رجیبی^۱، مهدی خداپرست^{۲*}، مسعود شکری^۳

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۶/۰۱

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۴/۱۹

چکیده

امروزه تغییر ویژگی‌های ژئوتکنیکی خاک در نتیجه آلودگی بوسیله مواد نفتی به عنوان یکی از چالش‌های مهندسی ژئوتکنیک مورد توجه قرار گرفته است. در این مطالعه در نظر است با انجام یک سری آزمایش برش مستقیم بزرگ مقیاس روی خاک‌های درشت دانه شنی آلوده به نفت گاز، تاثیر این آلودگی بر پارامترهای مقاومت برشی و رفتار برشی آنها مورد بررسی قرار گیرد. بر این اساس آزمایش‌های برش مستقیم بزرگ مقیاس (۳۰×۳۰ سانتیمتر) در شن خوب دانه‌بندی شده رس‌دار در درصد آلودگی‌های ۰، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ در دو سطح تنش قائم مختلف (معرف اعماق کم و زیاد) و در دو حالت تراکمی متفاوت انجام گرفته است.

نتایج نشان می‌دهد در خاک با تراکم کمتر (وزن واحد حجم ۱۷ کیلونیوتن بر متر مکعب)، با افزایش آلودگی زاویه اصطکاک داخلی ابتدا کاهش و سپس در حد معینی ثابت می‌ماند. در حالی که در خاک با تراکم بیشتر (وزن واحد حجم ۱۹ کیلونیوتن بر متر مکعب) با افزایش آلودگی، مقدار زاویه اصطکاک داخلی ابتدا ثابت و سپس به مقدار معینی کاهش و نهایتاً ثابت می‌ماند. همچنین افزایش آلودگی بیش از ۹٪ تاثیری در مقدار زاویه اصطکاک داخلی خاک ندارد. از نقطه نظر چسبندگی خاک نیز در هر دو حالت تراکمی، با افزایش آلودگی (تا ۹٪) تا حد معینی افزایش می‌یابد و بعد از آن ثابت می‌ماند. همچنین علی‌رغم تغییر مقدار زاویه اتساع با درصد آلودگی، در هر دو حالت تراکمی و در سطوح تنش مختلف، رفتار کلی انقباضی یا انبساطی خاک ثابت می‌ماند.

کلید واژه‌ها: نفت گاز، خاک شنی، چسبندگی، زاویه اصطکاک داخلی، زاویه اتساع

۱. استادیار گروه زمین‌شناسی مهندسی، دانشکده زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تهران amrajabi@ut.ac.ir

۲. دانشیار دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه قم khodaparast@qom.ac.ir (نویسنده مسئول)

۳. دانشجوی دکتری ژئوتکنیک دانشگاه قم

* مسئول مکاتبات

۱. مقدمه

آلودگی‌های نفتی یک پیامد اجتناب‌ناپذیر ناشی از افزایش سریع جمعیت و فرآیند صنعتی شدن است. آلودگی خاک توسط مواد هیدروکربنی در اطراف تاسیسات اکتشاف و پالایش و در مسیرهای انتقال این مواد قابل مشاهده است. هر چقدر مواد نفتی به عمق بیشتری از خاک نفوذ کند رفع آلودگی آن مشکل‌تر و پرهزینه‌تر خواهد بود. آلودگی به نفت خام از منابع متعددی صورت می‌گیرد که از این میان می‌توان به نشت از خطوط لوله‌های انتقال آسیب دیده، تصادف تانکرها، تخلیه از تاسیسات داخل دریا و خشکی و نشت طبیعی اشاره کرد. این آلودگی‌ها با انتشار در خاک باعث تغییر در پارامترهای مقاومتی و رفتار آنها می‌شود. لذا بررسی خصوصیات ژئوتکنیکی خاک‌های آلوده به نفت از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. در مواردی به دلیل زیاد بودن حجم عملیات جابجایی خاک‌های آلوده و غیر اقتصادی بودن آن، می‌توان همان خاک را برای اجرای پروژه‌ها به عنوان خاک زیر پی در نظر گرفت و پارامترهای مقاومت برشی آن را ملاک طراحی‌های بعدی در نظر گرفت. در این مطالعه با انجام یک سری آزمایش‌های برش مستقیم بزرگ مقیاس روی خاک‌های درشت دانه شنی آلوده به نفت گاز، در درصد‌های آلودگی مختلف، تاثیر این آلودگی بر مقاومت و رفتار برشی آنها مورد بررسی قرار گرفته است.

تاکنون بررسی‌های زیادی در خصوص تاثیر انواع آلودگی‌های نفتی روی خاک‌های ریزدانه و درشت دانه انجام شده و بعضاً نتایج متفاوتی بدست آمده است. این تفاوت‌ها عمدتاً به دلیل واکنش‌های متفاوتی است که انواع خاک‌ها در مقابل انواع آلودگی نشان می‌دهند. از جمله تحقیقات انجام شده بر روی خاک‌های ریزدانه، می‌توان به پژوهش‌های Rahman (۲۰۰۷)، Akinwumi (۲۰۱۴)، Adeoye (۲۰۱۵)، نورزاد (۱۳۹۰) و حمیدی (۱۳۹۰) اشاره کرد. محققین مذکور نشان دادند در خاک رس آلوده شده به نفت، حدود اتربرگ و نشانه خمیری افزایش می‌یابند. هرچند ذوالفهمی (۲۰۱۰) با آزمایش روی رس آلوده به نفت به این نتیجه رسید که به طور کلی افزایش

آلودگی باعث کاهش پارامترهای حدود اتربرگ می‌گردد. Nazir (۲۰۱۱) با مطالعه روی رس بیش تحکیم یافته آلوده به روغن موتور نشان داد که حدود خمیری و روانی خاک‌های آلوده با گذشت مدت زمان آلودگی به طور قابل توجهی کاهش یافته و سپس به حد ثابتی می‌رسد. بر اساس مطالعات وی، مقاومت فشاری محدود نشده خاک رس آلوده به روغن موتور با گذشت زمان کاهش یافته و پس از گذشت ۱۰ ماه تقریباً ثابت می‌ماند. Rahman (۲۰۰۷) با مطالعه خاک‌های رسی آلوده به نفت نشان داد که در فشار محصور کننده پایین، مقاومت برشی این خاک‌ها کاهش یافته در حالی که در فشار محصور کننده بالا، مقاومت کمی افزایش می‌یابد. نتایج مطالعات مشابه بر روی خاک‌های رسی آلوده به نفت خام نشان می‌دهد که زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی بدلیل تاثیر آلودگی بر روغن کاری بین دانه‌ها کاهش می‌یابند.

همچنین محققین مختلفی روی اثر آلودگی نفتی بر ویژگی‌های خاک‌های دانه‌ای مطالعه نموده‌اند. از جمله Evgin و Das (۱۹۹۲) با انجام یک سری آزمایش‌های سه محوری، روی ماسه‌های کوارتزی تمیز و آلوده به روغن موتور نشان دادند که در نمونه‌های آلوده کاهش زاویه اصطکاک داخلی قابل ملاحظه می‌باشد. بطور مشابه مطالعات سایر محققین روی خاک‌های ماسه‌ای آلوده به نفت کاهش قابل توجه زاویه اصطکاک داخلی خاک را تایید می‌کند. در خصوص چسبندگی خاک‌های ماسه‌ای آلوده به نفت خام نیز کاهش این پارامتر در اثر آلودگی مشاهده شد. همچنین Rasheed (۲۰۱۴) کاهش مقاومت برشی در آزمایش CBR را مشاهده نمود. محققینی مانند George (۲۰۱۴) و Adeoye (۲۰۱۵) نیز با انجام آزمایشات در خاک ماسه‌ای مشاهده کردند تا درصد آلودگی ۴٪ باعث افزایش مقاومت برشی و افزایش بیشتر آلودگی تا حدود ۱۰٪ باعث کاهش آن می‌گردد.

پتانسیل روانگرایی خاک ماسه‌ای آلوده شده به نفت خام فیروزکوه توسط نائینی (۲۰۱۴) مطالعه گردید و دیده شد که حضور نفت خام تا میزان ۸٪ در خاک باعث کاهش پتانسیل روانگرایی و بیشتر از آن باعث افزایش آن می‌گردد.

است که از جایگاه‌های سوخت ایران تهیه شده و از نوع مصرفی برای موتورهای دیزل می‌باشد. ویژگی‌های این ماده در جدول ۲ ارائه شده است. دلایل انتخاب این آلوده کننده، شامل فراوانی و در نتیجه احتمال آلوده شدن خاک‌ها در بخش‌های مختلف از پهنه کشور ایران، وجود گزارشات فراوان در خصوص آلودگی خاک با این نوع ماده نفتی و همچنین مطالعات محدودی می‌باشد که در این رابطه و به خصوص در ایران انجام شده است.

جدول ۱. تعداد و حالات مختلف آزمایشات در مطالعه حاضر

پارامتر مورد مطالعه	مقدار	تعداد آزمایش‌ها
وزن واحد حجم (کیلو نیوتن بر متر مکعب)	۱۷	۲
	۱۹	
پله‌های تنش قائم (کیلو پاسکال)	۱۰-۳۰-۵۰	۲
	۵۰-۱۰۰-۱۵۰	
درصد آلودگی	۰	۵
	۳	
	۶	
	۹	
	۱۲	
مجموع تعداد آزمایش‌ها	۲×۲×۵=۲۰	

۲-۲. مشخصات خاک مورد استفاده در مطالعه

خاک مورد استفاده در مطالعه از نوع شن رس‌دار خوب دانه‌بندی شده (GW-GC) در نظر گرفته شده است. دلیل این انتخاب از یک طرف قابلیت تراکم پذیری خوب این نوع خاک می‌باشد و از طرف دیگر با توجه به وجود تنوعی از اندازه ذرات در این نوع خاک، امکان بررسی تغییر خواص خمیری بخش ریزدانه و تغییر پارامترهای مقاومت برشی بخش درشت‌دانه در خاک وجود دارد. منحنی دانه‌بندی و اطلاعات طبقه‌بندی خاک مورد مطالعه به ترتیب در شکل ۱ و جدول ۳ نشان داده شده است.

همچنین تا کنون محققین زیادی روی ظرفیت باربری انواع خاک آلوده به مشتقات نفت مطالعه نمودند. از جمله Das و Shin (۲۰۰۱) کاهش موثری در ظرفیت باربری و مقاومت برشی ماسه غیر اشباع آلوده به نفت مشاهده کردند. Nasr (۲۰۰۹) نیز در تحقیقات خود با افزایش غلظت آلودگی (شامل روغن موتور و نفت گاز) کاهش عمده در ظرفیت باربری و همچنین افزایش متناظری در نشست پی نواری از ۰ تا ۰.۵٪ را نتیجه‌گیری کرد.

مرور نتایج محققین گذشته نشان می‌دهد که با وجود مطالعات زیاد بر روی خاک‌های ریزدانه و ماسه‌ای آلوده به مواد نفتی، تاکنون تحقیقات کافی در خصوص رفتار برشی خاک‌های درشت دانه شنی آلوده انجام نشده است. بر این اساس در این مطالعه، ضمن انجام آزمایش‌های برش مستقیم بزرگ مقیاس، موضوع مذکور مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲. مواد و روش‌ها

در این مطالعه به منظور بررسی اثر آلودگی روی مقاومت برشی خاک درشت دانه شنی، آزمایش برش مستقیم با ابعاد جعبه بزرگ ۳۰×۳۰ سانتیمتر در خاک آلوده با درصد‌های مختلف آلودگی ۰، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ درصد انجام شده است. به منظور بررسی اثر عمق خاک آلوده شده، سطح تنش قائم پایین برای اعماق کم با پله‌های بارگذاری ۱۰، ۳۰ و ۵۰ کیلو پاسکال و سطح تنش قائم بالا برای اعماق بیشتر با پله‌های بارگذاری ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلو پاسکال مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین به منظور بررسی اثر شرایط تراکمی مختلف، دو وزن واحد حجم ۱۷ و ۱۹ کیلو نیوتن بر متر مکعب برای خاک لحاظ گردیده که خلاصه حالات مختلف آزمایش‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

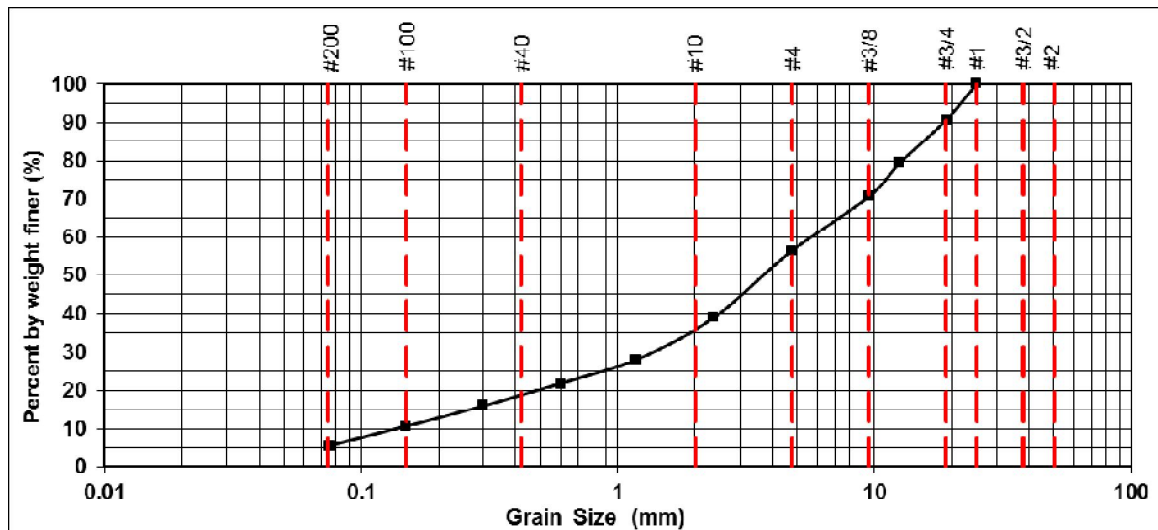
۱-۲. مشخصات ماده آلوده کننده

ماده آلوده کننده در این مطالعه، نفت گاز در نظر گرفته شده

جدول ۲. مشخصات ماده آلوده کننده مورد استفاده در مطالعه حاضر

پارامتر	چگالی (کیلوگرم بر متر مکعب)	شاخص ستان*	دمای تقطیر (درجه سانتیگراد)	سولفور (درصد جرمی)	ویسکوزیته کینماتیکی (میلی مترمربع بر ثانیه)	توده کربن (درصد جرمی)	خاکستر (درصد جرمی)	آب و رسوبات (درصد حجمی)
مقدار	۸۴۰	۵۰	۲۵۰	۱	۴	۱	۱	۵

* شاخص ستان یک معیار اندازه گیری برای نشان دادن زمان تاخیر احتراق سوخت در موتورهای دیزل است. حداقل شاخص ستان برای نفت گاز باید ۵۰ باشد.



شکل ۱. منحنی دانه‌بندی خاک مورد مطالعه

جدول ۳. مشخصات خاک مورد مطالعه

پارامتر	ضریب یکنواختی	ضریب دانه‌بندی	حد مایع (درصد)	نشانه خمیری (درصد)	وزن واحد حجم خشک حداقل (کیلو نیوتن بر متر مکعب)	وزن واحد حجم خشک حداکثر (کیلو نیوتن بر متر مکعب)	چگالی مانده بر الک ۴ (گرم بر سانتیمتر مکعب)	چگالی عبوری از الک ۴ (گرم بر سانتیمتر مکعب)
مقدار	۵۵۹/۸	۱/۰۲	۴۹	۲۵	۱۵/۸۴	۲۰/۸۸	۲/۷۳	۲/۶۸۸

چسبندگی خاک انجام شده و در قسمت دوم اثر آلودگی بر تغییرات کرنش قائم خاک و همچنین مقدار زاویه اتساع بررسی گردیده است. خلاصه نتایج حاصل از آزمایش‌ها در جدول ۴ مشاهده می‌گردد.

۳-۱. بررسی اثر آلودگی بر زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی خاک

در شکل ۲ تغییرات زاویه اصطکاک داخلی بر حسب درصد آلودگی در دو حالت تراکمی متفاوت و دو سطح تنش قائم پایین و بالا نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در خاک با وزن واحد حجم خشک کمتر در هر دو سطح تنش قائم بالا و پایین، روند تغییر زاویه اصطکاک داخلی ابتدا

وزن خاک لازم برای آزمایش از روی حجم جعبه برش و وزن واحد حجم خشک لازم بدست آمده است و مقدار نفت گاز هر تست نیز از محاسبه درصد وزنی مورد نیاز آلودگی نسبت به وزن خاک خشک حاصل شد. همچنین برای ریختن نمونه‌ها در جعبه برش از سه ضخامت ۴، ۷ و ۴ سانتی‌متر (و در مجموع ۱۵ سانتی‌متر) با میزان کوبش لازم برای رسیدن به تراکم و نشست مورد نظر استفاده گردید.

۳- نتایج و بحث

در این مطالعه ابتدا بررسی اثر آلودگی روی پارامترهای مقاومت برشی خاک شامل زاویه اصطکاک داخلی و

بصورت کاهش یافته و سپس در حد معینی ثابت می‌ماند. با این تفاوت که در سطح تنش قائم پایین از همان ابتدا به دلیل محصورشدگی کمتر، کاهش زاویه اصطکاک داخلی دارای شیب تند بوده (کاهش حدود ۱۱ درجه‌ای با آلودگی ۰٪ تا ۹٪) اما برای سطح تنش قائم بالا روند کاهش زاویه اصطکاک داخلی تا آلودگی ۶٪ کند بوده (حدود ۴ درجه) و از آن به بعد تا آلودگی ۹٪ کاهش شدید (حدود ۹ درجه) در زاویه اصطکاک داخلی رخ می‌دهد. این مطلب نشان‌دهنده تاثیر دیرتر افزایش آلودگی روی خاک در سطح تنش بالاتر است که دلیل آن می‌تواند مقاومت برشی بیشتر خاک در این حالت باشد. همچنین برای هر دو سطح تنش قائم، افزایش آلودگی بیشتر از ۹٪ تقریباً تاثیری در مقدار زاویه اصطکاک

داخلی خاک ندارد که حاکی از این است که روغن‌کاری سطوح دانه‌ها تا این درصد آلودگی به حداکثر مقدار خود رسیده و زاویه اصطکاک داخلی خاک به کمترین مقدار کاهش یافته است. لذا با افزایش آلودگی بیش از ۹٪ تغییر قابل توجهی رخ نمی‌دهد. در شرایط با وزن واحد حجم خشک کمتر، کاهش زاویه اصطکاک داخلی خاک برای هر دو سطح تنش قائم پایین و بالا نزدیک به هم و به ترتیب برابر با ۱۱ و ۱۲ درجه می‌باشد. همچنین با توجه به شکل ۲ مشاهده می‌گردد زاویه اصطکاک داخلی از سطح تنش قائم پایین تا بالا حدود ۲ الی ۳ درجه افزایش یافته که دلیل آن می‌تواند افزایش قفل‌شدگی و درگیری بین دانه‌ها ناشی از تنش قائم بالاتر باشد.

جدول ۴. تغییرات پارامترهای مقاومت برشی خاک در سطوح تنش نرمال و درصدهای آلودگی مختلف

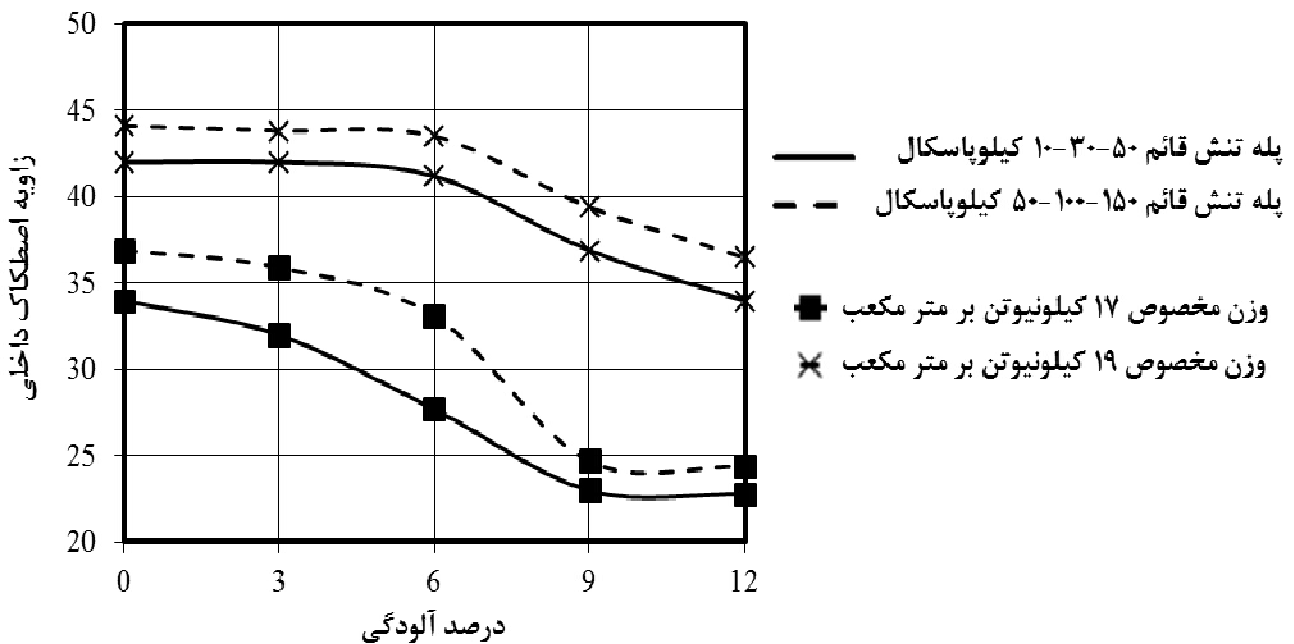
پارامتر	وزن واحد حجم (کیلونیون بر مترمکعب)	سطح تنش نرمال (کیلوپاسکال)	درصد آلودگی	چسبندگی (کیلوپاسکال)	درصد تغییرات چسبندگی	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)	درصد تغییرات زاویه اصطکاک داخلی	زاویه اتساع (درجه)
			۰	۲	-	۳۴	-	-
			۳	۵	+۱۵۰	۳۲	-۶	-۶
		۱۰ - ۳۰ - ۵۰	۶	۸	+۳۰۰	۲۷/۷	-۱۹	-۱۹
			۹	۹	+۳۵۰	۲۳	-۳۲	-۳۲
			۱۲	۹	+۳۵۰	۲۲/۸	-۳۳	-۳۳
	۱۷		۰	۶	+۲۰۰	۳۶/۹	+۹	-
			۳	۷	+۲۵۰	۳۵/۹	+۶	+۶
		۵۰ - ۱۰۰ - ۱۵۰	۶	۱۰	+۴۰۰	۳۳/۱	-۳	-۳
			۹	۱۳	+۵۵۰	۲۴/۷	-۲۷	-۲۷
			۱۲	۱۳	+۵۵۰	۲۴/۴	-۲۸	-۲۸
مقدار			۰	۶	+۲۰۰	۴۲	+۲۴	۱۶
			۳	۸	+۳۰۰	۴۲	+۲۴	۱۴/۵
		۱۰ - ۳۰ - ۵۰	۶	۱۱	+۴۵۰	۴۱/۲	+۲۱	۱۶/۶
			۹	۱۲	+۵۰۰	۳۶/۹	+۹	۲۵/۳
			۱۲	۱۲	+۵۰۰	۳۴	۰	۹/۳
	۱۹		۰	۷	+۲۵۰	۴۴/۱	+۳۰	۱۱/۴
			۳	۱۰	+۴۰۰	۴۳/۸	+۲۹	۴/۴
		۵۰ - ۱۰۰ - ۱۵۰	۶	۱۳	+۵۵۰	۴۳/۵	+۲۸	۱۰/۶
			۹	۱۴	+۶۰۰	۳۹/۴	+۱۶	۹
			۱۲	۱۴	+۶۰۰	۳۶/۵	+۷	۱۹

با توجه به شکل ۲ در خاک با وزن واحد حجم خشک بیشتر،

روند تغییر زاویه اصطکاک داخلی ابتدا ثابت و سپس به مقدار

بین دانه‌ها ناشی از آلودگی ربط داد که باعث لغزیدن بیشتر دانه‌ها روی هم و کاهش قفل شدگی بین آنها می‌گردد که این حالت تا آلودگی ۱۲٪ ادامه دارد. در شرایط با وزن واحد حجم خشک بیشتر، کاهش زاویه اصطکاک داخلی خاک برای هر دو سطح تنش قائم پایین و بالا نزدیک به هم و تقریباً برابر با ۸ درجه می‌باشد. همچنین با توجه به شکل ۲ زاویه اصطکاک داخلی از سطح تنش قائم پایین تا بالا به میزان ۲ درجه افزایش می‌یابد.

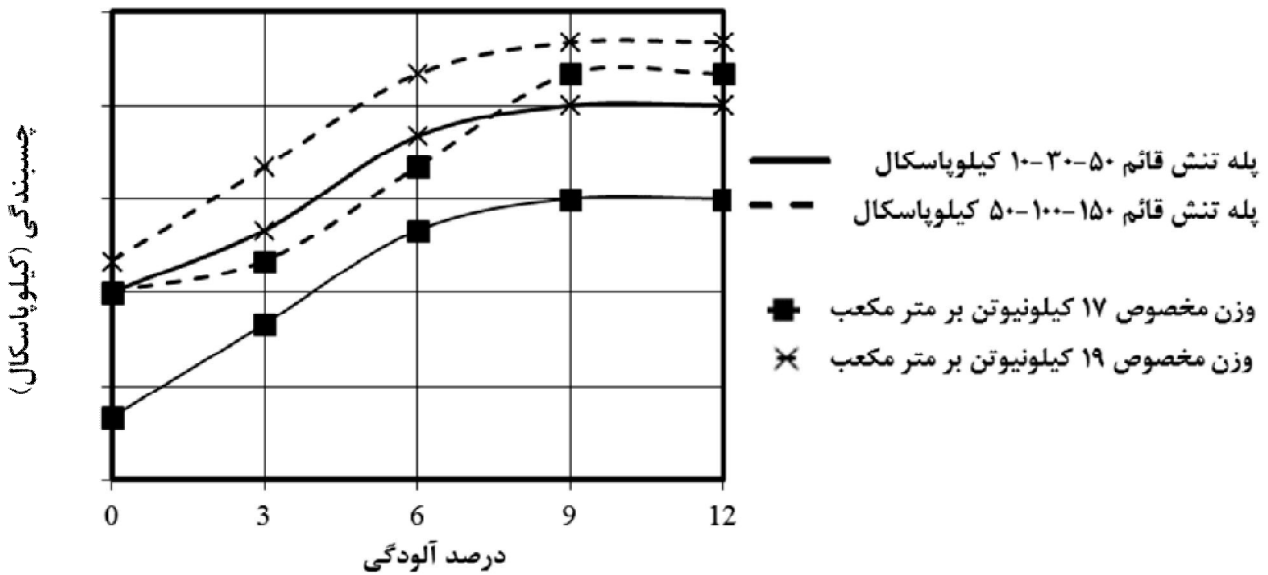
معینی کاهش می‌یابد. در هر دو حالت تنش قائم پایین و بالا، افزایش آلودگی تا میزان ۶٪ تقریباً تاثیری بر زاویه اصطکاک داخلی ندارد (کاهش حدود ۰.۵ درجه) ولی با افزایش آن تا مقدار ۱۲٪ کاهش بیشتری (حدود ۷ درجه) مشاهده می‌شود. نکته قابل توجه همسان بودن کامل دو منحنی و در نتیجه تاثیر یکسان آلودگی برای هر دو سطح تنش قائم پایین و بالا می‌باشد. همانگونه که مشاهده می‌شود بطور مشابه با قبل، کاهش زاویه اصطکاک داخلی خاک را می‌توان به روغن کاری



شکل ۲. نمودار تغییرات زاویه اصطکاک داخلی خاک بر حسب درصد آلودگی در سطوح تنش قائم و تراکم متفاوت

در شکل ۳ نمودار تغییرات چسبندگی بر حسب درصد آلودگی خاک در دو حالت تراکمی متفاوت و دو سطح تنش قائم پایین و بالا نشان داده شده است. مطابق با این شکل در خاک با وزن واحد حجم خشک کمتر، چسبندگی خاک با افزایش درصد آلودگی تا حد معینی افزایش می‌یابد و سپس در آن حد ثابت می‌ماند. بر این اساس در سطح تنش قائم پایین، روند افزایش چسبندگی تا درصد آلودگی ۷٪ و در سطح تنش بالا تا ۹٪ ادامه دارد. درصد افزایش مقدار چسبندگی در دو حالت سطح تنش قائم پایین و بالا به ترتیب

۳۵۰ و ۱۲۰ درصد می‌باشد. افزایش چسبندگی خاک با افزایش درصد آلودگی را می‌توان به اثر چسبندگی ماده آلوده کننده مربوط دانست. برای هر دو سطح تنش قائم، افزایش آلودگی بیشتر از ۹٪ تاثیری در مقدار چسبندگی خاک ندارد. همچنین مقدار افزایش چسبندگی در هر دو سطح تنش قائم پایین و بالا نزدیک به هم و برابر با ۷ کیلوپاسکال است.



شکل ۳. نمودار تغییرات چسبندگی خاک بر حسب درصد آلودگی در سطوح تنش قائم و تراکم متفاوت

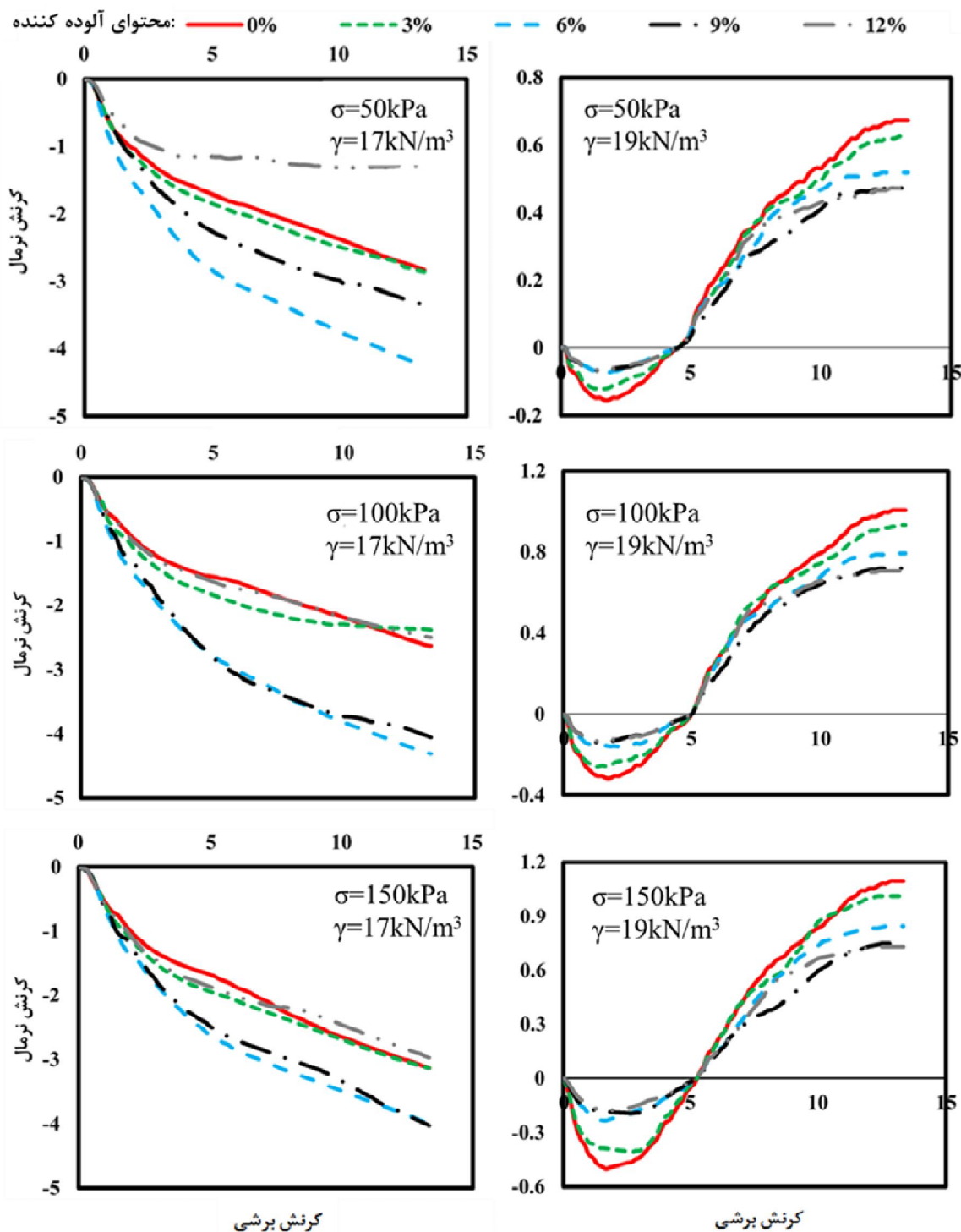
همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود در سطح تنش قائم پایین ۱۰ کیلوپاسکال در نمونه‌های با وزن واحد حجم خشک کمتر، رفتار تغییر حجم خاک کاملاً به صورت انقباضی است و نمونه‌ها در طول آزمایش به طور مداوم در حال کاهش حجم می‌باشند. در خاک‌های با وزن واحد حجم خشک بیشتر با توجه به شکل ۴، رفتار تغییر حجم خاک به گونه‌ای است که خاک در ابتدا یک کرنش قائم منفی (انقباض) و سپس رفتار انبساطی را تجربه می‌کند.

روند تغییرات کرنش قائم نمونه‌ها در سطوح تنش بالاتر نیز با توجه به شکل‌های ۴ و ۵ مشابه سطح تنش پایین ۱۰ کیلوپاسکال می‌باشد، به گونه‌ای که در تمام سطوح تنش، کرنش قائم در حالت وزن واحد حجم خشک کمتر، فقط بصورت انقباضی و در شرایط وزن واحد حجم خشک بیشتر، ابتدا بصورت انقباضی و سپس وارد رفتار انبساطی می‌گردد. در حالت اخیر تنها تفاوت، در روند تبدیل رفتار انقباضی به انبساطی در سطوح مختلف تنش و درصدهای مختلف آلودگی می‌باشد.

مطابق شکل ۳ در خاک با وزن واحد حجم خشک بیشتر، در هر دو سطح تنش قائم پایین و بالا، چسبندگی خاک مانند حالت قبل، با افزایش درصد آلودگی تا حد معینی افزایش می‌یابد و سپس در آن حد ثابت می‌ماند. با این تفاوت که در مقایسه با شرایط وزن واحد حجم خشک کمتر، تغییرات چسبندگی در هر دو سطح تنش قائم پایین و بالا کاملاً مشابه یکدیگر می‌باشند. در این حالت نیز برای هر دو سطح تنش، افزایش آلودگی بیشتر از ۹٪ تاثیری در مقدار چسبندگی خاک ندارد. همچنین با توجه به شکل ۳ مشاهده می‌گردد مقدار افزایش چسبندگی خاک برای هر دو سطح تنش پایین و بالا نزدیک به هم و برابر با ۶ تا ۷ کیلوپاسکال می‌باشد.

۲-۳. بررسی اثر آلودگی بر تغییرات کرنش قائم خاک

در این تحقیق تغییرات کرنش قائم خاک نیز در شرایط مختلف آزمایش مورد بررسی قرار گرفته است. در شکل‌های شماره ۴ و ۵ نمودار تغییرات کرنش قائم در مقابل کرنش برشی در تنش‌های قائم مختلف و در دو حالت تراکمی متفاوت و درصدهای آلودگی گوناگون آمده است.



شکل ۵. نمودار کرنش نرمال-کرنش برشی برای سطوح تنش بالا و تراکم‌های مختلف در درصد‌های آلودگی گوناگون

۳-۳. بررسی تغییرات زاویه اتساع خاک در اثر آلودگی

تغییر شکل برشی خاک‌ها اغلب با تغییر حجم همراه است. خاک سست تمایل به منقبض شدن و کاهش حجم دارد و خاک متراکم و فشرده نیز تنها زمانی می‌تواند تغییر شکل دهد

که حجم آن تا حدی زیادتر شود. این پدیده اتساع نامیده می‌شود که توسط رینولدز (۱۸۸۵) معرفی شد. در نتیجه مطالعات سیمونی و هولزبای (۲۰۰۶) و بولتون (۱۹۸۷) رابطه ۱ برای بدست آوردن زاویه اتساع ماکزیمم

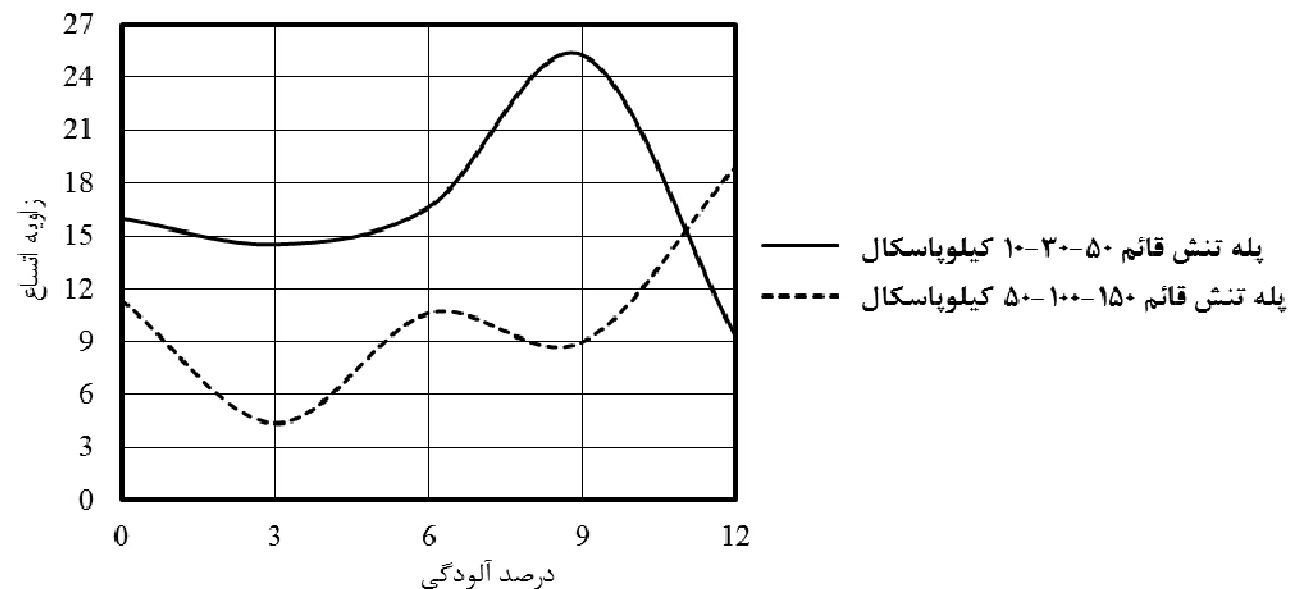
خاک درشت دانه ارائه گردید.

(۱)

$$\phi_{max} - \phi_{cr} = 0.8\psi_{max}$$

در این رابطه، ϕ_{max} زاویه اصطکاک داخلی (ماکزیمم) خاک در حالت تنش برشی حداکثر و ϕ_{cr} زاویه اصطکاک داخلی بحرانی خاک (یا زاویه اصطکاک خاک در حالت حجم ثابت) می‌باشد که بیانگر مقاومت برشی توده خاک در حالتی است که اتساع آن پایان یافته است. حائری و حمیدی (۲۰۰۵) نشان دادند که حالت بحرانی برای ماسه شن دار در کرنش محوری ۲۰٪ اتفاق می‌افتد. در مطالعه حاضر این پدیده به طور متوسط در کرنش برشی ۱۴٪ رخ داده است.

نمودار تغییرات زاویه اتساع خاک در مقابل درصد آلودگی در سطوح تنش قائم پایین و بالا در شکل ۶ رسم شده است. با توجه به نمودار دیده می‌شود که در حالت تنش قائم پایین، میزان زاویه اتساع تا درصد آلودگی ۶٪ تغییر ناچیزی دارد. اما در میزان آلودگی ۹٪ افزایش قابل توجهی در حدود ۱۰ درجه در زاویه اتساع رخ می‌دهد که نشان دهنده افزایش قابل توجه



شکل ۶. نمودار تغییرات زاویه اتساع خاک در مقابل درصد آلودگی در سطوح تنش قائم پایین و بالا

مواد قابل مشاهده است. این آلودگی‌ها با انتشار در خاک باعث تغییر در پارامترهای مقاومتی و رفتار آنها می‌شوند. لذا ضروری است که خصوصیات ژئوتکنیکی خاک‌های آلوده به

۴- نتیجه گیری

آلودگی خاک توسط مشتقات نفتی غالباً در اطراف تاسیسات اکتشاف و پالایش نفت و همچنین در مسیرهای انتقال این

مواد نفتی مورد بررسی دقیق قرار گیرد. در این مطالعه با انجام مجموعه‌ای از آزمایش‌های برش مستقیم بزرگ مقیاس روی خاک‌های درشت‌دانه شنی آلوده به نفت گاز در درصد‌های آلودگی مختلف، تاثیر این آلودگی بر مقاومت و رفتار برشی آنها مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج این مطالعه نشان داد که در خاک با وزن واحد حجم خشک کمتر و در هر دو سطح تنش قائم پایین و بالا، روند تغییر زاویه اصطکاک داخلی ابتدا بصورت کاهشی بوده و سپس در حد معینی ثابت می‌ماند با این تفاوت که در سطح تنش قائم پایین از همان ابتدا به دلیل محصور شدگی کمتر توسط تنش قائم، کاهش زاویه اصطکاک داخلی دارای شیب تند بوده اما برای سطح تنش بالا روند کاهش زاویه اصطکاک داخلی تا آلودگی ۶٪ ملایم و از آن به بعد تا آلودگی ۹٪ کاهش شدید در زاویه اصطکاک داخلی رخ می‌دهد. برای هر دو سطح تنش، افزایش آلودگی بیشتر از ۹٪ تاثیری در مقدار زاویه اصطکاک داخلی خاک ندارد. همچنین چسبندگی خاک با افزایش درصد آلودگی تا حد معینی افزایش می‌یابد و سپس در آن حد ثابت می‌ماند. در خاک با وزن واحد حجم خشک بیشتر و در هر دو سطح تنش قائم پایین و بالا، روند تغییر زاویه اصطکاک داخلی ابتدا بصورت ثابت و سپس به مقدار معینی کاهش می‌یابد و در نهایت باز هم در مقدار معینی ثابت می‌گردد. در نتیجه بررسی تغییر چسبندگی خاک در اثر تغییر درصد

منابع

- حمیدی، ا.، ۱۳۹۰. بررسی خصوصیات تحکیمی خاک‌های رسی آلوده به سیال آلی، نشریه مهندسی عمران شریف، دوره ۲۹-۲، شماره ۲، صفحه ۳۹-۲۵.
- محمدی اکبرآبادی، م.، یثربی، ش.، خوش‌نشین لنگرودی، م.، ۱۳۸۹. بررسی تاثیر آلودگی نفت خام بر برخی از ویژگی‌های ژئوتکنیکی خاک ماسه‌ای، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، مشهد، ایران.
- میرزا علی محمدی، ع.، جیریایی شراهی، م.، ۱۳۹۴. تاثیر زاویه اتساع خاک بر میزان مقاومت و تغییر شکل‌های آن، دومین کنفرانس ملی مکانیک خاک و مهندسی پی، قم، ایران.
- نورزاد، ع.، قاسم زاده، ح.، ۱۳۹۰. بررسی خواص مکانیکی خاکهای آلوده به نفت خام، پایان‌نامه کارشناسی ارشد عمران مکانیک خاک و پی، دانشگاه صنعت آب و برق شهید عباسپور، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست.

Adeoye, O., Olatokunbo, O., Ademola, A., 2015. Effect of Crude Oil Contamination on the Index Properties, Strength and Permeability of Lateritic Soil, New York Science Journal; 8(10).

ماده آلوده کننده در هر دو حالت با وزن واحد حجم خشک کمتر و بیشتر، مشاهده می‌گردد روند و مقدار این تغییر در هر دو حالت یکسان است به گونه‌ای که مقدار چسبندگی با افزایش ماده آلوده کننده ابتدا افزایش یافته و سپس در حد معینی ثابت می‌ماند

نتایج مربوط به تغییرات کرنش قائم خاک در شرایط مختلف آزمایش نشان می‌دهد که در همه سطوح تنش قائم و درصد‌های آلودگی مختلف در نمونه‌های با وزن واحد حجم خشک کمتر، رفتار تغییر حجم خاک کاملاً به صورت انقباضی است و نمونه‌ها در طول آزمایش به طور مداوم در حال کاهش حجم می‌باشند. لیکن در خاک‌های با وزن واحد حجم خشک بیشتر، رفتار تغییر حجم خاک به گونه‌ای است که خاک در ابتدا انقباضی و سپس انبساطی می‌شود.

در مورد تغییرات زاویه اتساع در سطح تنش قائم پایین تا درصد آلودگی ۶٪ تغییر ناچیزی مشاهده می‌شود اما در میزان آلودگی ۹٪ افزایش قابل توجهی در حدود ۱۰ درجه در زاویه اتساع رخ می‌دهد. همچنین بعد از ۹٪ آلودگی، زاویه اتساع خاک با افزایش هر چه بیشتر آلودگی، با کاهش حدود ۱۵ درجه‌ای مواجه می‌شود. در سطح تنش قائم بالا، روند متفاوتی با سطح تنش پایین مشاهده می‌گردد. به گونه‌ای که با افزایش آلودگی تا ۳٪ کاهش حدود ۶ درجه‌ای در زاویه اتساع رخ می‌دهد. لیکن با افزایش بیشتر آلودگی تا میزان ۱۲٪، زاویه اتساع به دلیل روغن‌کاری بیشتر سطوح دانه‌ها افزایش می‌یابد.

- Akinwumi, I.I., Diwa, D., Obianigwe, N., (2014). "Effects of crude oil contamination on the index properties, strength and permeability of lateritic clay", *Int. Journal of Applied Sciences and Engineering Research*, ISSN 2277 – 9442, Vol. 3, Issue 4.
- Al-Sanad, H.A., Eid, W.K., Ismael, N.F., 1995. Geotechnical Properties of Oil-Contaminated Kuwaiti Sand, *Journal of Geotechnical Engineering*.
- Bolton, M.D., 1986. The strength and dilatancy of sands, *Géotechnique*, 36(1), 65-78.
- Bolton, M.D., 1987. The strength and dilatancy of sands", *Discussion. Géotechnique*, 37(1), 219-226.
- Evgin, E., Das, B., 1992. Mechanical Behavior of an Oil-Contaminated Sand, *Environmental Geotechnology*, Usmen & Acar (eds), Balkema, Rotterdam.
- Ebadi, T., 2013. The Effect of Oil Contamination on the Geotechnical Properties of Fine Grained Soils, *Soil and Sediment Contamination, an International Journal*, Vol. 21, No. 5, pp: 655-671.
- George, S., Aswathy, E., Sabu, B., Krishnaprabha, N., George, M., 2014. Study on Geotechnical Properties of Diesel Oil Contaminated Soil, *International Journal of Civil and Structural Engineering Research* ISSN 2348-7607 (Online) Vol. 2, Issue 2, pp: (113-117).
- Haeri, S.M., Hamidi, A., 2005. Steady state and liquefaction characteristics of gravely sands, *Geotech.*
- Jia, Y.G., 2009. Case Study on Influences of Oil Contamination on Geotechnical Properties of Coastal Sediments in the Yellow River Delta, *Proc. of Int. Symp. on Geo-environmental Eng., ISGE*, Hangzhou, China.
- Khamehchiyan, M., Charkhabi, A.H., Tajik, M., 2007. Effects of Crude Oil Contamination on Geotechnical Properties of Clayey and Sandy soils, *Engineering Geology*, Vol. 89, pp: 220–229.
- Naeini, S.A., 2014. Effect of Oil Contamination on the Liquefaction Behavior of Sandy Soils, *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Environmental, Ecological, Geological and Mining Engineering*, Vol. 8, No. 5.
- Nasr, A., 2009. Experimental and Theoretical Studies for the Behavior of Strip Footing on Oil-Contaminated Sand, *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000165, pp: 1814-1822.
- Nazir, A.K., 2011. Effect of Motor Oil-Contamination on Geotechnical Properties of Over-Consolidated Clay, *Alexandria Engineering Journal*, Vol. 50, pp: 331–335.
- Otunyo, A.W., 2010. Reduction of the Shear Strength of Soils in the Niger Delta Area of Nigeria Due to Crude Oil Production, *Nigerian Journal of Technology*, Vol. 29, No. 2.
- Rahman, Z.A., Hamzah, U., Taha, M.R., 2010. Influence of Oil Contamination on Geotechnical Properties of Basaltic Residual Soil, *American Journal of Applied Sciences* 7 (7): 954-961.
- Rasheed, Z.N., Ahmed, F.R., Jassim, H.M., 2014. Effect of crude oil products on the geotechnical properties of soil, *WIT Transactions on Ecology and The Environment*, Vol 186.
- Rehman, H., 2007. Geotechnical Behavior of Oil-Contaminated Fine-Grained Soils, *EJGE*.
- Shin, E.C., Das, B.M., 2001. Bearing Capacity of Unsaturated Oil-Contaminated Sand, *the International Society of Offshore and Polar Engineers*.
- Simoni, A., Houlsby, G.T., 2006. The direct shear strength and dilatancy of sand-gravel mixtures, *Geotech. and Geol. Engrg.*, 24(3), 523-549.